

99 P 8125

[M]



PCT

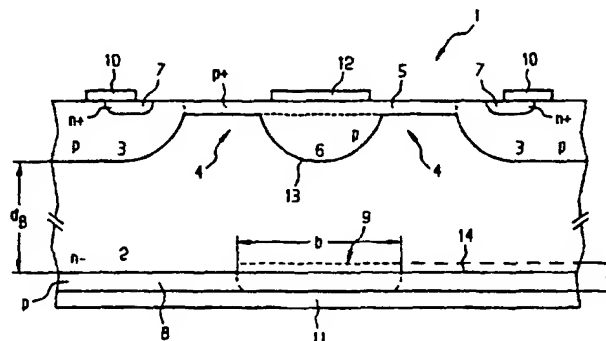
WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales BüroINTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

377

(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> : <b>H01L 29/74, 29/32, 29/10</b>		<b>A1</b>	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 98/15010</b>
			(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 9. April 1998 (09.04.98)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE97/02237		(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).	
(22) Internationales Anmeldedatum: 29. September 1997 (29.09.97)			
(30) Prioritätsdaten: 196 40 313.8 30. September 1996 (30.09.96) DE 196 50 762.6 6. Dezember 1996 (06.12.96) DE		Veröffentlicht Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.	
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): EU-PEC EUROPÄISCHE GESELLSCHAFT FÜR LEISTUNGSHALBLEITER MBH + CO. KG [DE/DE]; Max-Planck-Strasse 5, D-59581 Warstein (DE).			
(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): RUFF, Martin [DE/DE]; Amikastrasse 6, D-85591 Vaterstetten (DE). SCHULZE, Hans-Joachim [DE/DE]; Ottostrasse 60f, D-85521 Otto- brunn (DE).			
(74) Anwalt: EPPING, Wilhelm; Postfach 22 13 17, D-80503 München (DE).			

(54) Title: THYRISTOR WITH BREAKDOWN REGION

(54) Bezeichnung: THYRISTOR MIT DURCHBRUCHBEREICH



## (57) Abstract

The invention relates to a thyristor formed by a semiconductor body (1) with a base zone (2) on the anode side of the first mode of conductivity and at least one base zone (3) on the cathode side of the opposite second mode of conductivity, with emitter zones (7, 8) on both the anode and the cathode sides, with at least one region (6) in the base zone on the cathode side (3), which, owing to its geometry, has a reduced breakdown voltage as compared to the other regions of the base zone on the cathode side (3) and the border of the semiconductor body (1). The thyristor presents on the anode side beneath the region with reduced channeling current (6) at least one recombination zone (9) with decreased service life of the free charge carrier.

### (57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft einen Thyristor bestehend aus einem Halbleiterkörper (1) mit einer anodenseitigen Basiszone (2) vom ersten Leitungstyp und mindestens einer katodenseitigen Basiszone (3) vom entgegengesetzten, zweiten Leitungstyp, mit anodenseitigen und katodenseitigen Emitterzonen (7, 8), mit mindestens einem Bereich (6) in der katodenseitigen Basiszone (3), der durch seine Geometrie eine gegenüber den übrigen Bereichen der katodenseitigen Basiszone (3) und dem Rand des Halbleiterkörpers (1) verminderte Durchbruchspannung aufweist. Anodenseitig weist der Thyristor unterhalb des Bereichs vermindelter Durchbruchspannung (6) mindestens eine Rekombinationszone (9) mit vermindelter Lebensdauer der freien Ladungsträger auf.

### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun			PT	Portugal		
CN	China	KR	Republik Korea	RO	Rumänien		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SG	Singapur		
EE	Estland	LR	Liberia				

## Beschreibung

### Thyristor mit Durchbruchbereich

- 5 Die Erfindung betrifft einen Thyristor, bestehend aus einem Halbleiterkörper
- mit einer anodenseitigen Basiszone vom ersten Leitungstyp und mindestens einer katodenseitigen Basiszone vom entgegengesetzten, zweiten Leitungstyp,
  - 10 - mit anodenseitigen und katodenseitigen Emitterzonen,
  - mit mindestens einem Bereich in der katodenseitigen Basiszone, der durch seine Geometrie eine gegenüber den übrigen Bereichen in der katodenseitigen Basiszone und dem Rand des Halbleiterkörper verminderte Durchbruchspannung aufweist,
- 15 In Hochspannungsanlagen sind im allgemeinen mehrere Thyristoren in Reihe geschaltet. Diese müssen stets gleichzeitig gezündet werden. Zündet einer der Thyristoren später, so liegt an ihm nahezu die gesamte Spannung an und der Thyristor wird
- 20 zerstört. Man ist daher bemüht, Thyristoren zu entwickeln, die "über Kopf" gezündet werden können. Solche Thyristoren haben in der Regel einen zentralen Bereich, der eine gegenüber dem übrigen Bereich und dem Rand niedrigere Durchbruchspannung hat. Steigt die Spannung am Thyristor an, so geht
- 25 dieser Bereich in den Lawinendurchbruch und der Durchbruchstrom kann den Thyristor direkt oder über einen oder mehrere Hilfsthyristorstrukturen zünden.
- Der Durchbruchbereich kann zum Beispiel dadurch erzeugt werden, daß die katodenseitige Basiszone eine Aussparung hat, innerhalb der an der Oberfläche des Halbleiterkörpers eine dünnere Schicht des gleichen Leitungstyps angeordnet ist. Der pn-Übergang zwischen der anoden- und katodenseitigen Basiszone hat dann beim Übergang von der Waagerechten in die Aus-
- 30 sparung einen definierten Krümmungsradius, an dem eine gegenüber einem ebenen pn-Übergang höhere Feldstärke auftritt. An der Krümmung kommt es daher vorzugsweise zu einem Durchbruch
- 35

des Thyristors. Eine gattungsgemäße Struktur ist zum Beispiel in dem Artikel "Design consideration for high-power, overvoltage self-protected thyristor" von Ohashi, Yoshida, Yamaguchi, Akagi, veröffentlicht in IPEC-Tokyo 1983, Seiten 550-558, insbesondere anhand von Figur 1b beschrieben worden.

Die Durchbrucheigenschaften des genannten Bereichs hängen von der Form des pn-Übergangs der katodenseitigen Basiszone ab. In DE 42 15 378 C1 ( $\equiv$  EP-0 572 826 A1) ist ein weiterer gattungsgemäßer Thyristor mit Bereichen verminderter Durchbruchspannung angegeben. Diese Bereiche verminderter Durchbruchspannung sind sehr wirksam und gut reproduzierbar.

Dort ist die Überkopfzündspannung von Thyristoren mit integriertem Überspannungsschutz jedoch stark temperaturabhängig. Gründe hierfür sind zum einen die mit der Temperatur zunehmende Durchbruchspannung und die mit der Temperatur steigende Emitter-Kollektor-Verstärkung  $\alpha_{np}$ . Bei hohen Temperaturen verstärkt die Transistorverstärkung  $\alpha_{np}$  den Sperrstrom in der Weise, daß es zur vorzeitigen Zündung des Thyristors bei niedrigeren Überkopfzündspannung als vorgesehen kommt. Dies kann zum unbeabsichtigten vorzeitigen Zünden des Thyristors führen.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen Thyristor der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, daß die Überkopfzündspannungen des Thyristors im Temperaturbereich des Thyristorbetriebs weitgehend temperaturunabhängig ist.

Die Aufgabe wird gelöst durch den kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 1. Insbesondere sind hier anodenseitig unterhalb der Zone verminderter Durchbruchspannung Rekombinationszentren vorgesehen, die die Lebensdauer der freien Ladungsträger herabsetzen.

Die Ausgestaltung der Rekombinationszone ist Bestandteil der Patentansprüche 2 bis 6. Die Rekombinationszone besteht dabei im wesentlichen aus Defekten, die durch Bestrahlung mit nichtdotierenden, hochenergetischen Teilchen erzeugt werden.

5 Bei den Defekten handelt es sich üblicherweise um Frenkel-Defekte beziehungsweise Schottky-Defekte, die bei Bestrahlung des Halbleiterkörpers mit  $\alpha$ -Teilchen oder Protonen erzeugt werden. Es sind aber auch andere Defekte denkbar. Für die Bestrahlung wird eine relativ geringe Dosis von  $10^{10}$  bis  $10^{12}$

10  $\text{cm}^{-2}$  angesetzt, da der Kristall durch die Bestrahlung nicht zu stark geschädigt werden soll.

Die Patentansprüche 7 und 8 spezifizieren die Geometrie der Thyristorstrukturen, insbesondere der Zonen mit verminderter

15 Durchbruchspannung. Die kathodenseitigen Basis- und Emitterbereiche sind vorteilhafterweise in der Ebene der Oberfläche kreisförmig ausgebildet und bilden einen Ringthyristor.

In einer Weiterbildung gemäß Patentanspruch 9 ist an der

20 Oberfläche zwischen der Basiszone und dem Bereich verminderter Durchbruchspannung eine weitere Zone vorgesehen, welche die Oberfläche des Thyristors vor Oberflächenladungen schützt. Diese Zone ist entsprechend höher dotiert als die Basiszone und die Zone verminderter Durchbruchspannung.

25 Patentanspruch 15 ist auf ein bevorzugtes Verfahren zur Herstellung der erfindungsgemäßen Rekombinationszone gerichtet.

Die Erfindung wird anhand der in den Figuren der Zeichnung

30 dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigt:

Figur 1 einen Teilschnitt eines erfindungsgemäßen Thyristors mit anodenseitiger Rekombinationszone;

Figur 2 die Überkopffzündkennlinie für eine Thyristor

35 (a) ohne Rekombinationszone (nach DE 42 15 378 C1)

(b) und mit Rekombinationszone an der Scheibenrückseite.

- 4 -

- Figur 3 einen lichtzündbaren Thyristor mit integriertem BOD- und  $dU/dt$ -Schutz im Querschnitt;  
Figur 4 die dem Überspannungsschutz dienende BOD-Struktur des Thyristors gemäß Figur 3;  
5 Figur 5 die mit Hilfe eines Simulationsprogramms berechnete Temperaturabhängigkeit der BOD-Spannung für drei unterschiedlich aufgebaute Thyristoren.

### 1. Ausführungsbeispiel

10

Figur 1 zeigt einen Teilschnitt durch einen erfindungsgemäßen Thyristor. Ein Halbleiterkörper 1, beispielsweise eine Siliziumscheibe, enthält eine n-dotierte anodenseitige Basiszone 2. Katodenseitig schließt sich eine p-dotierte Basiszone 3 an. Die Basiszone 3 enthält eine Aussparung 4. In der Aussparung 4 ist an der Oberfläche des Halbleiterkörpers 1 eine dünne p+-dotierte Schicht 5 angeordnet, die mit der Basiszone 3 verbunden ist. In der Aussparung 4 ist außerdem eine zusätzliche Zone 6 des gleichen Leitungstyps wie die katodenseitige Basiszone 3 angeordnet. Die zusätzliche Zone 6 ist mit der dünnen Schicht 5 verbunden und hat allseitig einen Abstand vom Rand der Aussparung 4, d.h. von der Basiszone 3. Die zusätzliche Zone 6 hat die Form eines Kugelschnittes, wobei die Schnittebene an die dünne Schicht 5 angrenzt. Vorzugsweise ist die dünne Schicht 5 sehr viel höher dotiert als die Basiszone 3 und die zusätzliche Zone 6. Die Form der Bereiche 4, 5, 6 ist aber nicht zwingend. Wesentlich ist jedoch, daß die zusätzliche Zone 6 von der Innenzone 2 gesehen mindestens teilweise konkav ist. Durch seine Form weist die zusätzliche Zone 6 eine gegenüber den übrigen Bereichen in der katodenseitigen Basiszone 3 und dem Rand des Halbleiterkörpers 1 verminderte Durchbruchspannung auf.

20  
25  
30

Kathodenseitig sind in der Basiszone 3 n'-dotierte Emitterzonen 7 eingebettet, die beispielsweise die Hilfsemitterzonen von Hilfsthystoren sein können. Die Emitterzonen 7 werden durch Emitterelektroden 10 kontaktiert. Außerdem kontaktieren

35

- 5 -

die Emittierelektroden 10 an der Außenseite auch die Basiszone 3. Die dünne Schicht 5 wird im Bereich der zusätzlichen Zone 6 an der Oberfläche von einer Gateelektrode 12 kontaktiert.

- 5 Vorzugsweise sind die katodenseitige Basiszone 3 und die Emitterzone 7 sowie die dünne Schicht 5 und die zusätzliche Zone 6 in der Ebene der Oberfläche des Halbleiterkörpers 1 kreisförmig oder kreisringförmig ausgebildet. Der erfindungs-  
gemäße Thyristor ist vorzugsweise ein Ringthyristor. Die dar-  
10 gestellten Formen der oben genannten Zonen und Schichten 3, 5, 6, 7 ist jedoch nicht zwingend. Sie können auch von der Kreisform bzw. Kreisringform abweichen und beispielsweise polygonal ausgeformt sein.
- 15 Die oben beschriebenen Zonen bzw. Schichten können entsprechend DE 42 15 378, insbesondere Figur 1, ausgebildet sein. In DE 42 15 378 C1 ist ein Thyristor mit integriertem Über-  
spannungsschutz angegeben. Bei Anlegen einer Spannung in  
Flußrichtung werden bevorzugt im Bereich des pn-Übergangs 13  
20 der zusätzlichen Zone 6 Ladungsträgerpaare gebildet, von denen sich die Elektronen zur anodenseitigen Emitterzone 8 und die Löcher zur dünnen Schicht 5 und dann über die Basiszone 3 zur Emittierelektrode bewegen. Dieser Strom verstärkt sich la-  
winenartig und leitet auf bekannte Weise die Zündung des Thy-  
25 ristors ein. Die zusätzliche Zone 6 bildet damit einen durch ihre Geometrie vorgegebenen Bereich mit verminderter Durchbruchspannung. Die dünne Schicht 5 hat die Aufgabe, die katodenseitige Oberfläche des Thyristors vor Oberflächenladun-  
gen zu schützen. Zu diesem Zweck ist sie, wie bereits er-  
30 wähnt, höher dotiert als die zusätzliche Zone 6 und die Basiszone 3. In DE 42 15 378 C1 ist außerdem ein bevorzugtes Verfahren zur Herstellung der oben beschriebenen Thyristorstruktur angegeben.
- 35 Anodenseitig ist außerdem in dem unterhalb der zusätzlichen Zone 6 liegenden Bereich des Halbleiterkörpers 1 eine Rekombinationszone 9 vorgesehen. Die Rekombinationszone 9 wird

durch anodenseitige Bestrahlung des Halbleiterkörpers 1 mit nichtdotierenden, hochenergetischen Teilchen, insbesondere  $\alpha$ -Teilchen oder Protonen, erzeugt. Durch die Bestrahlung werden anodenseitig Defekte im Kristallgitter erzeugt. Bei den Defekten handelt es sich insbesondere um Frenkel-Defekte und/oder Schottky-Defekte, wobei auch andere Defekte denkbar sind. Die räumliche Verteilung dieser Defekte definiert die Rekombinationszone 9.

- Die vertikale Lage der Zone 9 im Halbleiterkörper 1 ist so gewählt, daß die dem pn-Übergang 13 zugeordnete Raumladungszone den geschädigten Bereich auch beim Anliegen der durch die zentrale BOD-Struktur 4/5/6 vorgegebenen maximalen Blockierspannung  $U_{BOD}$  nicht erreicht. Dies ist gewährleistet, wenn die strahlungsinduzierten Rekombinationszentren vorwiegend in der anodenseitigen Emitterzone 8 lokalisiert sind, die Rekombinationszone 9 also nicht oder nur unwesentlich in die anodenseitige Basiszone 2 hineinreicht. Im gezeigten Ausführungsbeispiel beträgt die Dicke  $d$  der Rekombinationszone 9 beispielsweise  $d \leq 150 \mu\text{m}$ , während der die anodenseitige Basiszone 2 und die anodenseitige Emitterzone 8 trennende pn-Übergang 14 in einer Tiefe von typischerweise 70-100  $\mu\text{m}$  liegt. Die in lateraler Richtung gemessene Breite  $b$  der Rekombinationszone 9 sollte etwa dem 1-2-Fachen der Dicke  $d_B$  der anodenseitigen Basiszone 2 entsprechen, also etwa  $b \approx 1-4 \text{ mm}$  betragen.

- Für die Bestrahlung wird eine niedrige Bestrahlungsdosis gewählt, da der Halbleiterkörper 1 durch die Bestrahlung nicht zu stark geschädigt werden soll. Die Bestrahlungsdosis liegt typischerweise im Bereich von etwa  $10^{10}$  bis  $10^{12} \text{ cm}^{-2}$  bei Bestrahlung mit  $\alpha$ -Teilchen und von  $10^{11}$  bis  $10^{13} \text{ cm}^{-2}$  bei Bestrahlung mit Protonen. Die Bestrahlungsenergie kann je nach gewünschter Lage der Rekombinationszone 9 in der anodenseitigen p-Emitterzone 8 bzw. n-Basiszone 2 zwischen 5 und 20 MeV gewählt werden. Ist eine stärkere Schädigung des Kristalls erforderlich, können auch schwerere Teilchen wie zum Beispiel



- 7 -

Sauerstoffionen zur Bestrahlung verwendet werden. Als Bestrahlungsquelle wird üblicherweise ein Hochenergieionenimplanter verwendet.

- 5 Nach der Bestrahlung wird üblicherweise ein Temperschritt (zum Beispiel 220 °C, 20 h) zur Stabilisierung der Rekombinationszentren 9 durchgeführt. Durch eine anodenseitige Maske kann der Bestrahlungsbereich gewählt werden. Da es sich hier meist um sehr große Strukturen handelt, kann als Maske bei-
- 10 spielsweise eine Metallochblende dienen.

Nachfolgend wird die Funktion der erfindungsgemäßen Thyristorstruktur erläutert.

- 15 Durch die anodenseitig eingebrachten hochenergetischen Teilchen in der Rekombinationszone 9 wird im Halbleiterkörper 1 ein vertikal inhomogenes Lebensdauerprofil erzeugt. In der Rekombinationszone 9 ist die Majoritätsladungsträgerlebensdauer im Vergleich zu den übrigen Bereichen stark reduziert.
- 20 Die reduzierte Lebensdauer bewirkt eine verstärkte Rekombination der Ladungsträger und damit eine Verringerung der Transistorverstärkung  $\alpha_{pnp}$ , insbesondere bei hohen Temperaturen. Dadurch kann die starke Abnahme der Überkopffzündspannung zu höheren Temperaturen hin verschoben werden. Diese Temperatur-
- 25 verschiebung läßt sich sowohl durch die Stärke der zusätzlichen Lebensdauerabsenkung als auch durch deren Lage beeinflussen.

- Thyristoren der genannten Art können entweder über eine Gateelektrode 12 stromgesteuert oder lichtgesteuert sein.
- 30

- Figur 2 zeigt die simulierte Strom-Spannungs-Kennlinie bei Überkopffzündung eines Thyristors nach DE 42 15 378 (a) im Vergleich zur erfindungsgemäßen Thyristorstruktur mit anodenseitiger Rekombinationszone (b) bei verschiedenen Temperatu-
- 35 ren. In Figur 2 (b) erkennt man, daß durch die Trägerlebensdauerabsenkung in der Rekombinationszone 9 die Über-

- 8 -

kopfzündspannung der Thyristoren im Vergleich zu (a) deutlich temperaturstabiler sind. Durch die gewählten Maßnahmen ist damit die Überkopfzündspannung der erfindungsgemäßen Thyristoren bis etwa 140°C weniger temperaturabhängig. Im Bereich  
5 der zulässigen Betriebstemperaturen verliert der Thyristor damit nicht seine Blockierfähigkeit.

## 2. Ausführungsbeispiel

10 Der oben beschriebene Thyristor zündet bereits vor dem Erreichen der durch die zentrale BOD-Struktur 4/5/6 vorgegebenen statischen Kippspannung  $U_{BOD}$ , wenn die zeitliche Änderung  $dU/dt$  der angelegten Blockierspannung  $U$  einen kritischen Wert von mehreren  $kV/\mu s$  übersteigt. Ausgelöst wird diese unter Um-  
15 ständen zur Zerstörung des Thyristors führende Fehlzündung durch den Aufbau der Raumladungszone am p-Basis/n-Basis-Übergang 13 und dem daraus resultierenden, den Sperrstrom verstärkenden Verschiebungsstrom  $I_d = C_d \times dU/dt$  ( $C_d$ : spannungsabhängige Raumladungskapazität des pn-Übergangs 13).  
20 Durch Einbau einer Zone erhöhten Widerstandes in die kathodenseitige Basis 3 unterhalb des ersten Hilfsthristors 7/10 läßt sich die durch eine zu große  $dU/dt$ -Belastung hervorgerufene Fehlzündung gezielt in den Zentralbereich des Thyristors verlagern. Da das von der Zündung betroffene Volumen dann in-  
25 nerhalb des vom ersten Hilfsthristor 7/10 begrenzten Bereichs liegt, kann sich das Plasma, wie bei einer gesteuerten Zündung, großflächig und gleichförmig in radialer Richtung ausbreiten, ohne daß die Stromdichte kritische Werte erreicht (s. beispielsweise die Veröffentlichung von H.-J. Schulze et  
30 al. in Proceedings of the ISPSD 96, 197, Hawai 1996).

Die Figur 3 zeigt einen lichtzündbaren Thyristor mit integriertem  $dU/dt$ -Schutz im Querschnitt. Er ist rotationssymmetrisch bezüglich der senkrecht auf den beiden Hauptflächen  
35 22/23 des Halbleiterkörpers 21 stehenden Achse 24 aufgebaut. Während die obere Hauptfläche 22 des scheibenförmigen Halbleiterkörpers 21 die randseitig verlaufende, mit Emitterkurz-

schlüssen versehene Kathodenmetallisierung 25 trägt, ist seine rückseitige Hauptfläche 23 vollständig mit einer als Anode dienenden Metallisierung 26 beschichtet. Der aus Silizium bestehende Halbleiterkörper 21 weist mehrere, unterschiedlich  
5 dotierte, jeweils durch Raumladungszonen voneinander getrennte Bereiche 27-30 auf. Diese Bereiche unterschiedlicher Leitfähigkeit bilden den n'-dotierten, kathodenseitigen Emitter 27, die p-dotierte Basis 28, die nur schwach elektronenleitende, anodenseitige Basis 29 sowie den von der Anodenmetallisierung 26 kontaktierten p'-Emitter 30.  
10

Die mit AG (Amplifying Gate) bezeichneten, radial innerhalb der Kathodenmetallisierung 25 angeordneten Hilfsthystoren 1.-5.-AG bilden die Treiberstufen des Hauptthyristors. Sie  
15 weisen jeweils einen in der kathodenseitigen Basis 28 eingebetteten, n'-dotierten Hilfsemitter 31/31' und eine sowohl den Hilfsemitter 31/31' als auch die Basis 28 kontaktierende Metallisierung 32/32' auf. In einer die innersten drei  
Hilfsthystoren 1.-3.-AG ringförmig umschließenden Zone 33  
20 ist die Dotierstoffkonzentration gegenüber den lateral angrenzenden Bereichen der kathodenseitigen Basis 28 verringert. Diese Ringzone 33 wirkt als Widerstand R, der den in der Basis 28 radial nach außen fließenden Zündstrom auf einen vorgegebenen Maximalwert begrenzt und so die Belastung der  
25 Struktur während der Einschaltphase vermindert.

Um die durch eine zu große  $dU/dt$ -Belastung hervorgerufene Zündung gezielt in den Zentralbereich des Thyristors zu verlagern, besitzt die kathodenseitige Basis 28 in einer unterhalb des n'-dotierten Bereichs 31 des ersten Hilfsthystors 1.-AG liegenden Ringzone 35 einen erhöhten Widerstand. Da die  
30 Breite L und der durch die Dotierstoffkonzentration gegebene Schichtwiderstand  $R_0$  der Ringzone 35 sowohl die zur Zündung des ersten Hilfsthystors 1.-AG erforderliche minimale  
35 Strahlungsintensität als auch dessen  $dU/dt$ -Belastbarkeit entscheidend beeinflusst, läßt sich durch eine geeignete Dimensionierung dieser Parameter sicherstellen, daß die zentral

gelegene Thyristorstruktur die größte  $dU/dt$ -Empfindlichkeit des Systems aufweist und sie demzufolge bei Überschreitung eines kritischen Wertes der Spannungssteilheit  $dU/dt$  zuerst zündet. Der Schichtwiderstand  $R_0$  der etwa 200-600  $\mu m$  breiten Ringzone 35 beträgt typischerweise  $R_0 = 2000-5000 \Omega_0$ . Er ist damit um einen Faktor 10-20 größer als der Schichtwiderstand des angrenzenden Basisbereichs ( $R_0(p') = 200 - 400 \Omega_0$ ).

Die oben bereits beschriebene, in Figur 4 vergrößert dargestellte BOD-Struktur des Thyristors dient dem Überspannungsschutz. Ihre lateralen Abmessungen sind mit  $D_1 = 350 \mu m$  und  $D_a = 550 \mu m$  so bemessen, daß die Durchbruchspannung  $U_{BOD}$  bei Zimmertemperatur  $T = 23^\circ C$  etwa  $U_{BOD} \approx 7,8 kV$  beträgt.

Um die durch die Geometrie der BOD-Struktur vorgegebene Spannung  $U_{BOD}$  („Überkopfzündspannung“) insbesondere bei höheren Betriebstemperaturen  $T \geq 80-90^\circ C$  weitgehend konstant zu halten, weist die anodenseitige Basis 29 in ihrem zentralen Bereich unterhalb der BOD-Struktur eine vertikal inhomogene Verteilung der Dichte strahlungsinduzierter Gitterdefekte auf. Die Lage dieser vergleichsweise schmalen, etwa 20  $\mu m$  breiten Zone 36 im Halbleiterkörper 21, d. h. ihr vertikaler Abstand von der anodenseitigen Hauptfläche 23 ist hierbei derart gewählt, daß die dem pn-Übergang 37 zugeordnete Raumladungszone den geschädigten Bereich 36 bei einer Blockierspannung  $U \leq U_{BOD}$  von etwa  $U \approx 8,2 kV$  erreicht. Steigt die Blockierspannung  $U$  nur unwesentlich weiter an, liegt der geschädigte Bereich 36 vollständig innerhalb der Raumladungszone, wobei die strahlungsinduzierten Defekte nun nicht mehr als Rekombinationszentren, sondern als Generationszentren freier Ladungsträger wirken. Der zum Sperrstrom beitragende und exponentiell mit der Temperatur anwachsende Generationsstrom in der Raumladungszone vergrößert den Verstärkungsfaktor  $\alpha_{pnp}$  der durch die Schichten 28/29/30 gebildeten Transistorstruktur soweit, daß der Thyristor bei einer nur unwesentlich von der gewünschten Durchbruchsspannung  $U_{BOD}$  abweichenden Blockierspannung zündet. Die vertikal inhomogene Ver-

teilung der Defektdichte in der anodenseitigen Basis 29 erzeugt man wieder durch eine Bestrahlung des Halbleiterkörpers 21 mit Protonen oder Heliumkernen. Außer dem schon beschriebenen Verfahren können insbesondere auch die aus der WO 92/17907 bekannten Bestrahlungstechniken zur Anwendung kommen. Der Abstand  $b_D/2$  des Randes der Zone 36 von der Symmetrieachse 24 beträgt typischerweise  $b_D/2 \leq (1-2) d_B$ , wobei  $d_B \approx 1-2$  mm die Breite der anodenseitigen Basis 29 bezeichnet.

10

In Figur 5 ist die mit Hilfe eines Simulationsprogramms berechnete Temperaturabhängigkeit der Überkopfzündspannung  $U_{BOD}$  verschiedener Thyristoren dargestellt. Wie erwartet, steigt die Spannung  $U_{BOD}$  des nicht mit Protonen bestrahlten Thyristors aufgrund des positiven Temperaturkoeffizienten der Avalanche-Koeffizienten zunächst mit der Temperatur  $T$  kontinuierlich an, um ab einer Temperatur  $T \approx 120^\circ\text{C}$  schließlich steil abzufallen (negativer Temperaturkoeffizient der Transistorverstärkung  $\alpha_{PNP}$  als Folge des erhöhten Sperrstromes). Das Temperaturverhalten der BOD-Spannung verbessert sich deutlich, wenn der Thyristor im anodenseitigen Emitter eine durch Bestrahlung mit Protonen erzeugte Zone abgesenkter Lebensdauer aufweist (s. die als Dreiecke dargestellten Simulationswerte). Ähnlich verhält sich die BOD-Spannung eines Thyristors, bei dem die Zone abgesenkter Lebensdauer in der anodenseitigen Basis an einer Stelle lokalisiert ist, die dem pn-Übergang 37 zugeordnete Raumladungszone, unabhängig von der anliegenden Blockierspannung, nicht erreicht. Die BOD-Spannung bleibt im Temperaturbereich  $80^\circ\text{C} \leq T \leq 140^\circ\text{C}$  annähernd konstant, falls die Zone erhöhter Defektdichte beim Anlegen der gewünschten Blockierspannung von beispielsweise  $U_{BOD} = 8,2$  kV innerhalb der vom p-Basis/n-Basis-Übergang 37 ausgehenden Raumladungszone liegt (s. die als Quadrate dargestellten Simulationswerte).

25  
30

**Patentansprüche**

1. Thyristor bestehend aus einem Halbleiterkörper (1)  
- mit einer anodenseitigen Basiszone (2) vom ersten Leitungstyp und mindestens einer katodenseitigen Basiszone (3) vom entgegengesetzten, zweiten Leitungstyp,  
- mit anodenseitigen und katodenseitigen Emitterzonen (7,8),  
- mit mindestens einem Bereich (6) in der katodenseitigen Basiszone (3), der durch seine Geometrie eine gegenüber den übrigen Bereichen in der katodenseitigen Basiszone (3) und dem Rand des Halbleiterkörper (1) verminderte Durchbruchspannung aufweist,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
daß anodenseitig unterhalb des Bereichs vermindelter Durchbruchspannung (6) mindestens eine Rekombinationszone (9) mit verminderter Lebensdauer der freien Ladungsträger vorgesehen ist.
2. Thyristor nach Anspruch 1,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
daß die Rekombinationszone (9) im wesentlichen aus Defekten im Kristallgitter besteht, welche durch Bestrahlung mit nichtdotierenden, hochenergetischen Teilchen erzeugt werden.
3. Thyristor nach Anspruch 2,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
daß es sich bei den Defekten um Frenkel-Defekte und/oder Schottky-Defekte handelt.
4. Thyristor nach einem der Ansprüche 2 oder 3,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
daß die Defekte durch Bestrahlung des Halbleiterkörpers (1) mit geladenen Teilchen erzeugt worden sind.
5. Thyristor nach Anspruch 3,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

daß die Defekte durch Bestrahlung des Halbleiterkörpers (1) mit Protonen oder  $\alpha$ -Teilchen erzeugt worden sind.

6. Thyristor nach Anspruch 4 oder 5,  
5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
daß die Dosis der eingebrachten Teilchen für die Rekombinationszone (9) im Bereich von etwa  $10^{10}$  bis  $10^{12}$   $\text{cm}^{-2}$  bei Bestrahlung mit  $\alpha$ -Teilchen und von  $10^{11}$  bis  $10^{13}$   $\text{cm}^{-2}$  bei Bestrahlung mit Protonen gewählt wird.

10

7. Thyristor nach einem der Ansprüche 1 - 6,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
daß die Geometrie der katodenseitigen Bereiche (4, 5, 6) im wesentlichen folgende Merkmale aufweist:

- 15 - eine Aussparung (4) ist im zentralen Bereich der kathodenseitigen Basiszone (3) angeordnet, innerhalb der an der Oberfläche des Halbleiterkörpers (1) eine gegenüber der katodenseitigen Basiszone (3) dünnere Schicht (5) des zweiten Leitungstyps angeordnet ist, welche mit der katodenseitigen Basiszone (3) verbunden ist,  
20 - in der Aussparung (4) ist eine zusätzliche Zone (6) des zweiten Leitungstyps angeordnet, die an die dünne Schicht (5) angrenzt,  
- die zusätzliche Zone (6) ist von der katodenseitigen Basiszone (3) aus gesehen mindestens teilweise konkav ausgebildet.  
25

8. Thyristor nach einem der Ansprüche 1 - 7,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
30 daß die katodenseitigen Bereiche (4, 5, 6) sowie die katodenseitige Basiszone (3) und die katodenseitigen Emitterzonen (7) in der Ebene der Oberfläche des Halbleiterkörpers (1) kreisförmig ausgebildet sind und der Thyristor ein Ringthyristor ist.

35

9. Thyristor nach einem der Ansprüche 1 - 8,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

- 14 -

daß die Dotierungskonzentration der dünnen Schicht (5) sehr viel größer ist als die Dotierungskonzentrationen der kathodenseitigen Basiszone (3) und der zusätzlichen Schicht (6).

5 10. Thyristor nach einem der Ansprüche 1 bis 10,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die anodenseitige Basiszone (29) in einer durch eine  
Hauptflächennormale des Halbleiterkörpers (21) definierten  
vertikalen Richtung eine inhomogene Verteilung der Dichte an  
10 Rekombinations- und Generationszentren freier Ladungsträger  
aufweist.

11. Thyristor nach Anspruch 10,  
dadurch gekennzeichnet,  
15 daß die Dichte der Rekombinations- und Generationszentren innerhalb eines ersten Bereichs (36) der anodenseitigen Basiszone (29) jeweils höher ist als in den sich in vertikaler  
Richtung beidseitig anschließenden und jeweils bis zum benachbarten pn-Übergang erstreckenden Bereichen der anodenseitigen Basiszone (29).  
20

12. Thyristor nach Anspruch 11,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Abmessung  $b$  des ersten Bereichs (36) in lateraler  
25 Richtung der Bedingung  $b < (1-4)d_B$  genügt, wobei  $d_B$  die vertikale Dicke der anodenseitigen Basiszone (29) bezeichnet.

13. Thyristor nach Anspruch 11 oder 12,  
dadurch gekennzeichnet,  
30 daß die vertikale Lage des ersten Bereichs (36) innerhalb der anodenseitigen Basiszone (29) derart gewählt ist, daß die Raumladungszone des den beiden Basiszonen (28, 29) zugeordneten pn-Übergangs (37) den ersten Bereich (36) bei einer vorgegebenen Differenz eines Kathoden- und eines Anodenpotentials erreicht.  
35

14. Thyristor nach Anspruch 13,



- 15 -

dadurch gekennzeichnet,  
daß die vorgegebene Potentialdifferenz annähernd der verminderten Durchbruchspannung ( $U_{BOD}$ ) entspricht.

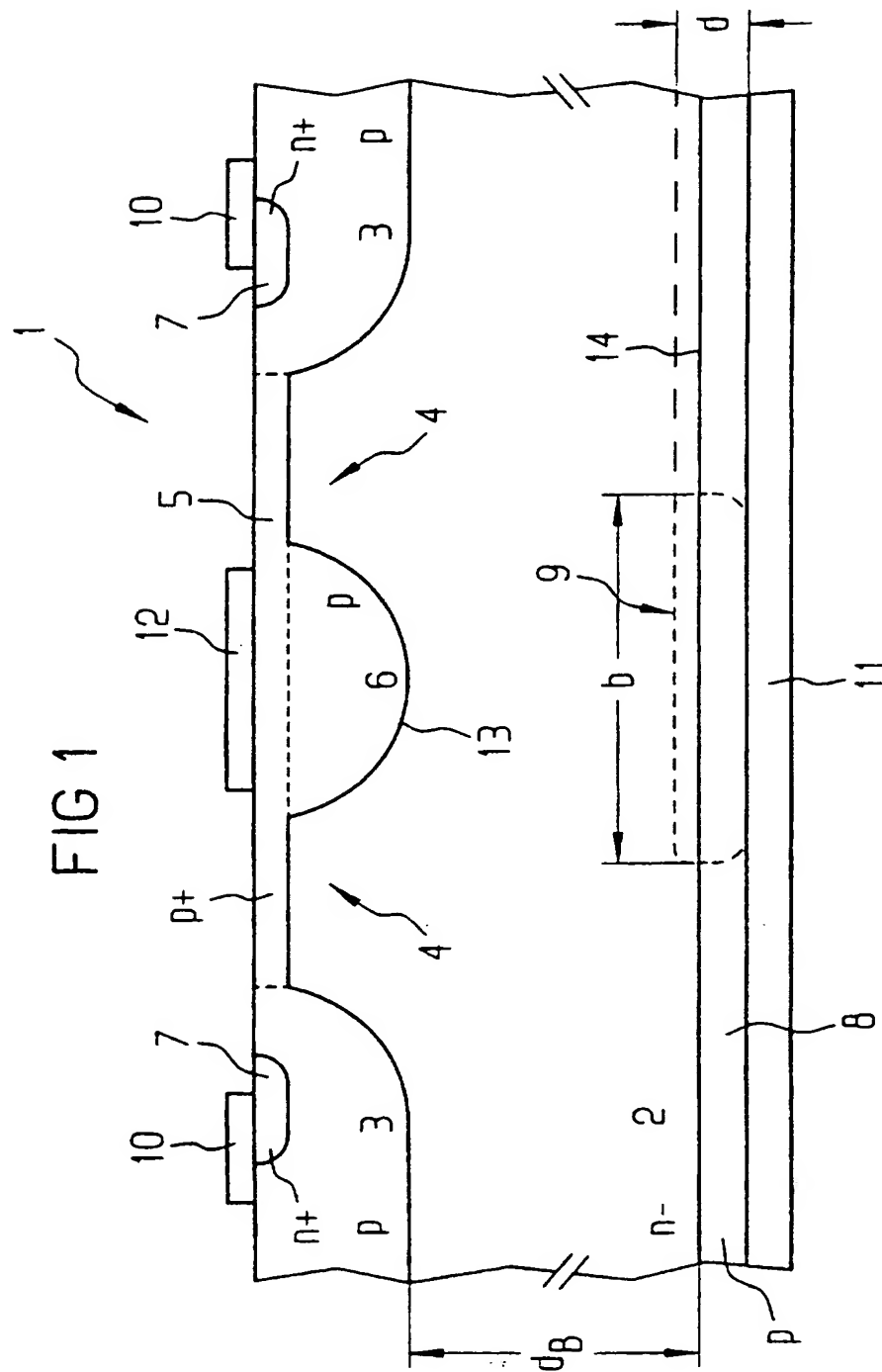
- 5 15. Herstellungsverfahren für einen Thyristor nach einem der Ansprüche 1 bis 9,

dadurch gekennzeichnet,  
daß folgende Verfahrensschritte zur Erzeugung der Rekombinationszone (9) durchgeführt werden:

- 10 - anodenseitige Maskierung des Halbleiterkörpers (1), beispielsweise durch eine Metallochblende,  
- anodenseitige Bestrahlung,  
- abschließender Temperaturschritt zur Stabilisierung der Rekombinationszone (9).

15

1/5



2/5

FIG 2A

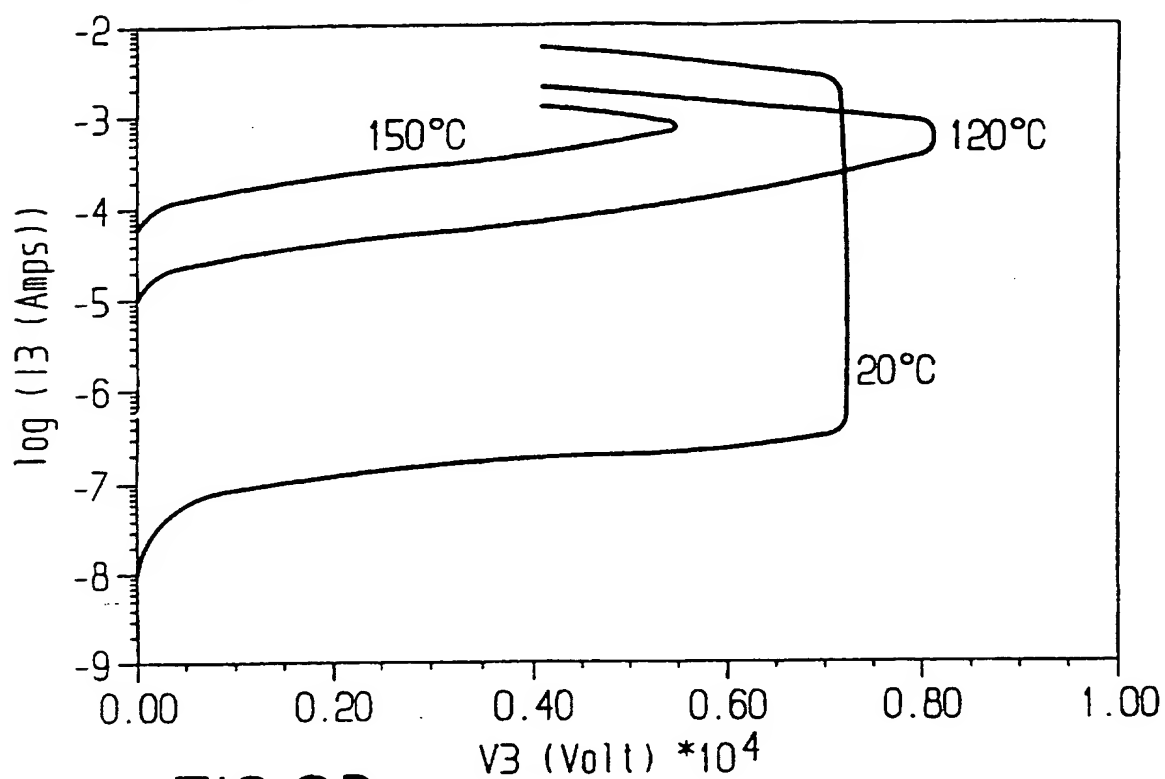


FIG 2B

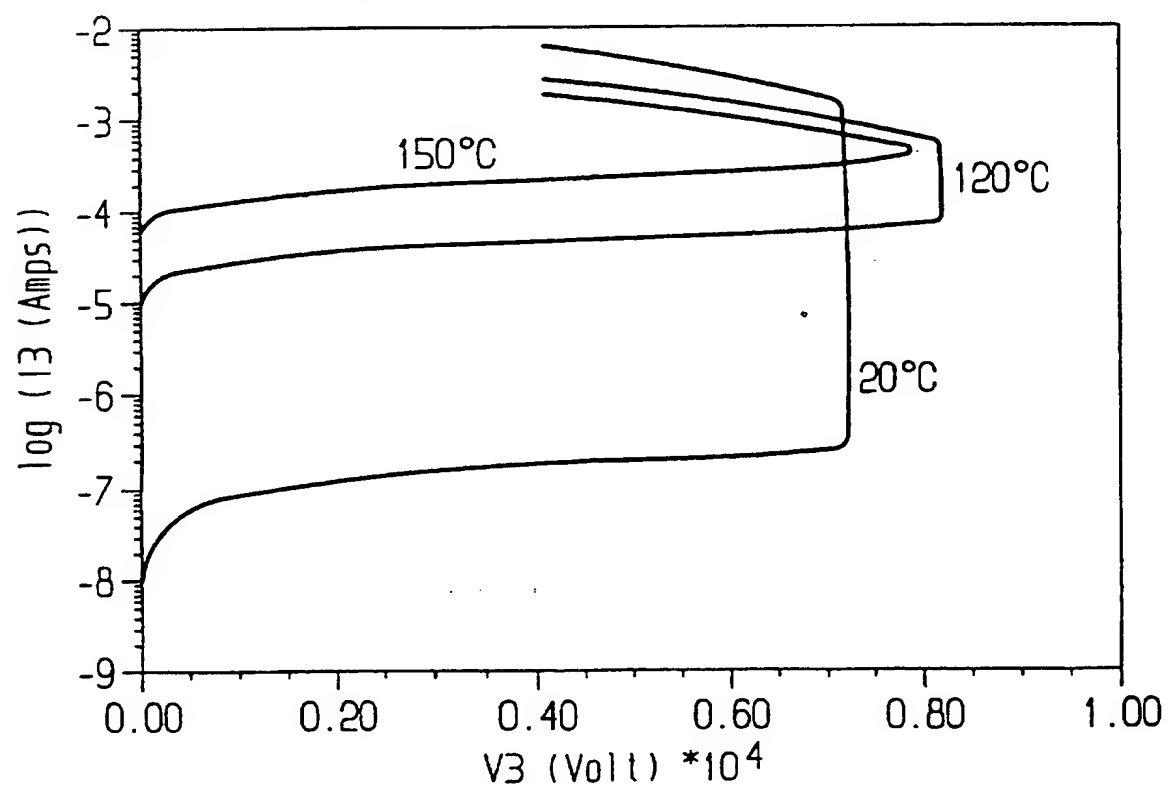
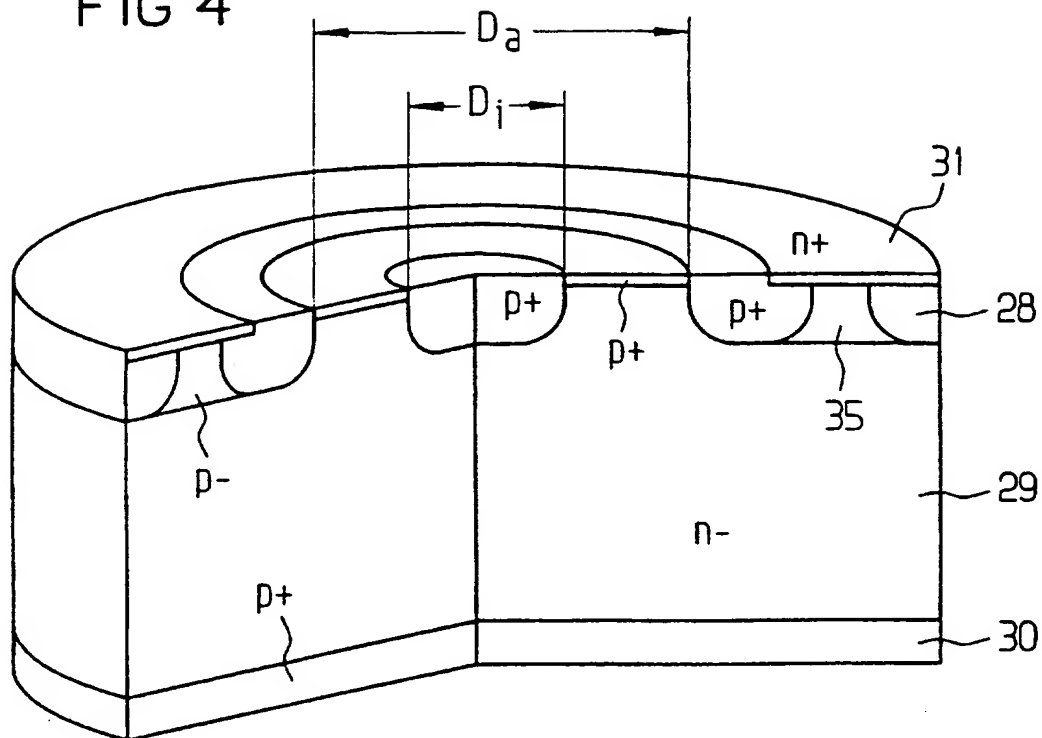


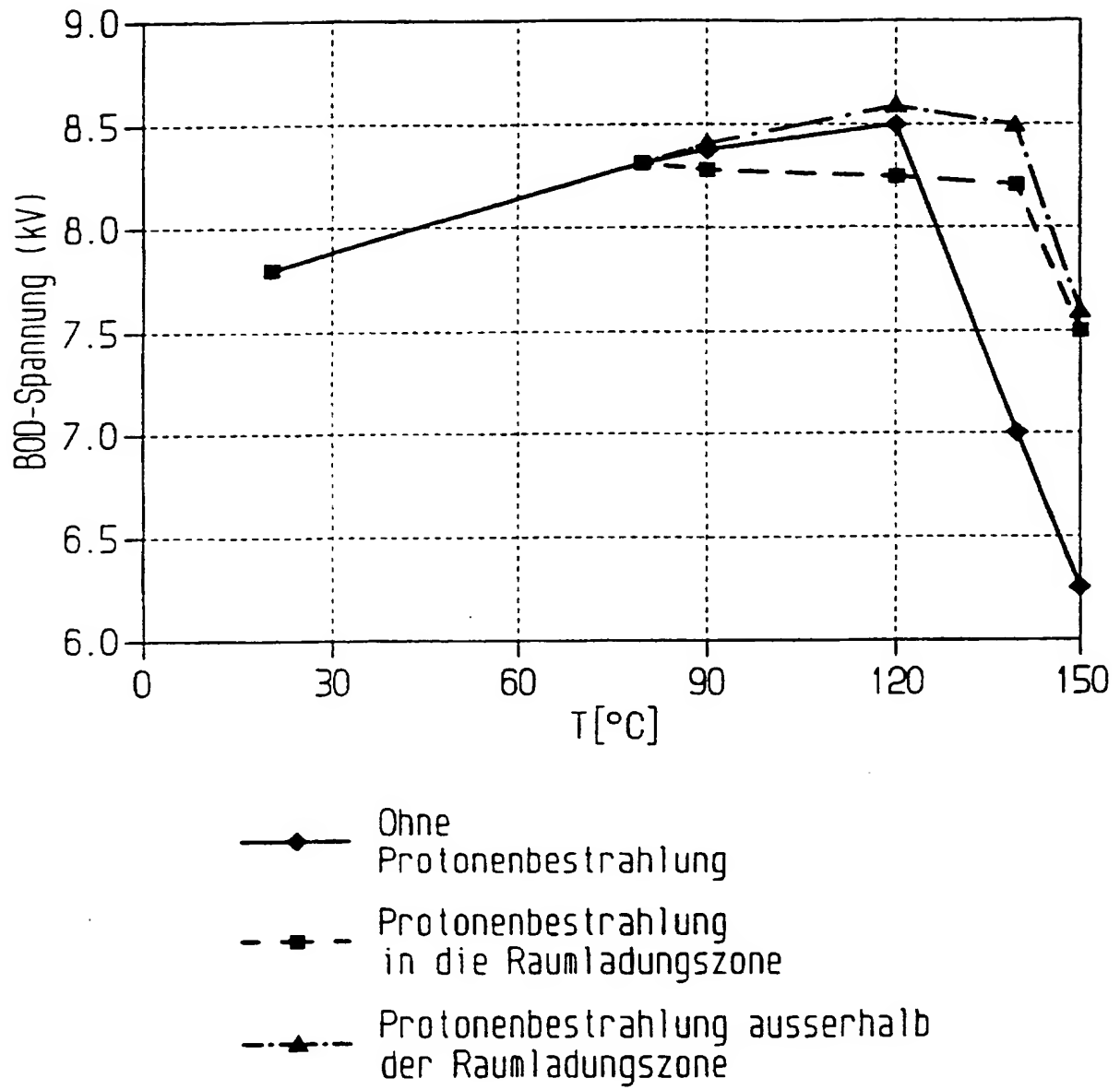


FIG 4



5/5

FIG 5



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 97/02237

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 H01L29/74 H01L29/32 H01L29/10

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 572 826 A (SIEMENS) 8 December 1993 cited in the application see the whole document ---	1-15
A	WO 92 17907 A (SIEMENS) 15 October 1992 cited in the application see the whole document ---	1-15
A	EP 0 423 721 A (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) 24 April 1991 see column 2, line 36 - line 44; figures -----	1-15



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex

### Special categories of cited documents

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "S" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

5 February 1998

Date of mailing of the international search report

12/02/1998

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel (+31-70) 340-2040 Tx 31 651 epo nl  
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Sinemus, M

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 97/02237

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 572826 A	08-12-93	DE 4215378 C	30-09-93
		CA 2095769 A	12-11-93
		JP 6029519 A	04-02-94
		US 5455434 A	03-10-95
WO 9217907 A	15-10-92	EP 0577623 A	12-01-94
		JP 6506320 T	14-07-94
		US 5420045 A	30-05-95
EP 423721 A	24-04-91	JP 1952324 C	28-07-95
		JP 3129879 A	03-06-91
		JP 6080820 B	12-10-94
		DE 69026184 D	02-05-96
		DE 69026184 T	05-09-96
		KR 9410555 B	24-10-94
		US 5243205 A	07-09-93



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 97/02237

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 6 H01L29/74 H01L29/32 H01L29/10

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 572 826 A (SIEMENS) 8. Dezember 1993 in der Anmeldung erwähnt siehe das ganze Dokument	1-15
A	WO 92 17907 A (SIEMENS) 15. Oktober 1992 in der Anmeldung erwähnt siehe das ganze Dokument	1-15
A	EP 0 423 721 A (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) 24. April 1991 siehe Spalte 2. Zeile 36 - Zeile 44; Abbildungen	1-15

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

### Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen

- A: Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- E: älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- L: Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- O: Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- P: Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- T: Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- X: Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- Y: Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann nahelegend ist
- &: Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

5. Februar 1998

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

12/02/1998

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P B 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel: (+31-70) 340-2040 Tx: 31 651 epo nl  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Sinemus, M

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 97/02237

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 572826 A	08-12-93	DE 4215378 C	30-09-93
		CA 2095769 A	12-11-93
		JP 6029519 A	04-02-94
		US 5455434 A	03-10-95
-----			
WO 9217907 A	15-10-92	EP 0577623 A	12-01-94
		JP 6506320 T	14-07-94
		US 5420045 A	30-05-95
-----			
EP 423721 A	24-04-91	JP 1952324 C	28-07-95
		JP 3129879 A	03-06-91
		JP 6080820 B	12-10-94
		DE 69026184 D	02-05-96
		DE 69026184 T	05-09-96
		KR 9410555 B	24-10-94
		US 5243205 A	07-09-93
-----			